# Stroombronnen

**Een stroombron levert een constante uitgangsstroom die ofwel wordt bepaald door de interne parameters van de schakeling ofwel extern wordt gedefinieerd door het aanleggen van een spanning of digitale code op het IC. Wij bespreken principes, toepassingen en typen.**

**Auteur:** Jos Verstraten, Landgraaf, Nederland
**Email:** josverstraten@live.nl
**Publicatiedatum:** 27-08-2020

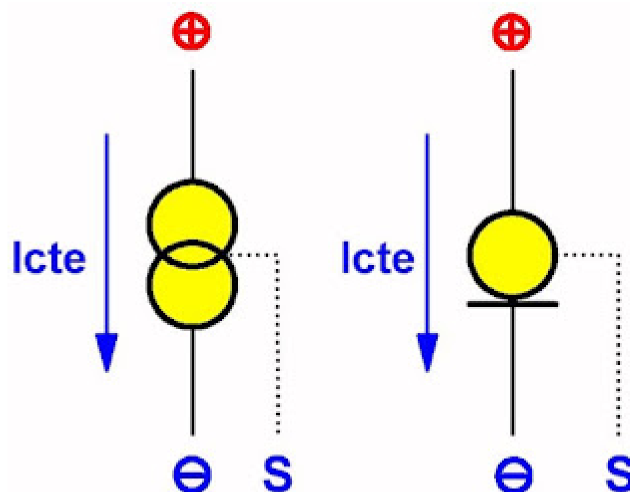
## Kennismaking met stroombronnen

### De voornaamste eigenschap van een stroombron

Zoals de naam reeds aangeeft leveren stroombronnen een constante stroom aan een belasting. Er bestaan stroombronnen die een intern vastgelegde constante stroom leveren, maar daarnaast treft u ook schakelingen aan die een extern instelbare stroom genereren. Ook dan wordt de grootte van de stroom echter alleen bepaald door de instelvoorwaarden en is deze onafhankelijk van de grootte van de belastingsweerstand of de voedingsspanning van het IC.

### Het symbool van een stroombron

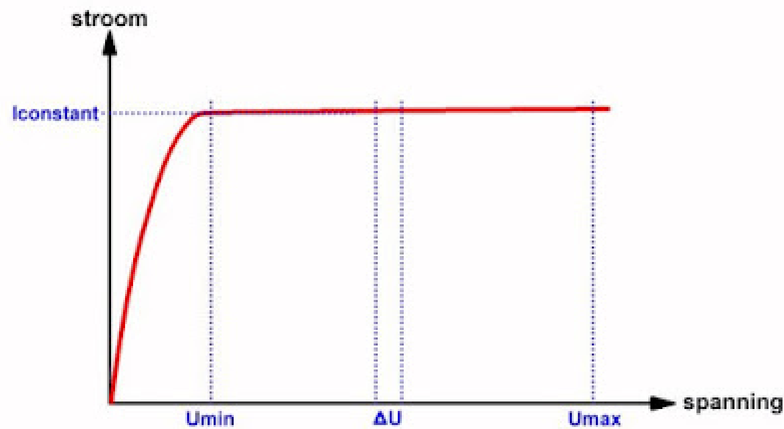
De twee meest gebruikte symbolen voor een stroombron zijn getekend in de onderstaande figuur. De gestippeld getekende lijn is alleen aanwezig als de grootte van de uitgangsstroom extern instelbaar is.



*De symbolen van een stroombron. (© 2020 Jos Verstraten)*

### De transfer-karakteristiek van een stroombron

De voornaamste eigenschap van een stroombron is dat de geleverde stroom onafhankelijk is van de spanning die over de stroombron staat. Dit wordt weergegeven in de transfer-karakteristiek van de onderstaande figuur. Zo'n karakteristiek geeft het verband tussen de stroom door de stroombron en de spanning over de stroombron. De stroom blijft constant tussen een bepaalde minimale spanning $U_{min}$ en een bepaalde maximale spanning $U_{max}$.




*De transfer-karakteristiek van een stroombron. (© 2020 Jos Verstraten)*

**De inwendige weerstand van een stroombron**
Een kleine spanningsvariatie ΔU over het onderdeel heeft geen stroomvariatie tot gevolg. Hieruit kunt u afleiden dat de inwendige weerstand van een stroombron oneindig groot is. Deze weerstand wordt immers gegeven door de formule:
$R = \Delta U / \Delta I$
Als ΔI gelijk is aan nul moet R oneindig hoog zijn. Delen door nul levert immers altijd een oneindig groot resultaat op.
Dit geldt uiteraard alleen bij de zuiver theoretische veronderstelling dat ΔI inderdaad 0 is. In de praktijk zal een ΔU toch een klein stroomverschil ΔI tot gevolg hebben, zodat de inwendige weerstand niet oneindig hoog is, maar toch in het MΩ-gebied ligt.

## Soorten stroombronnen

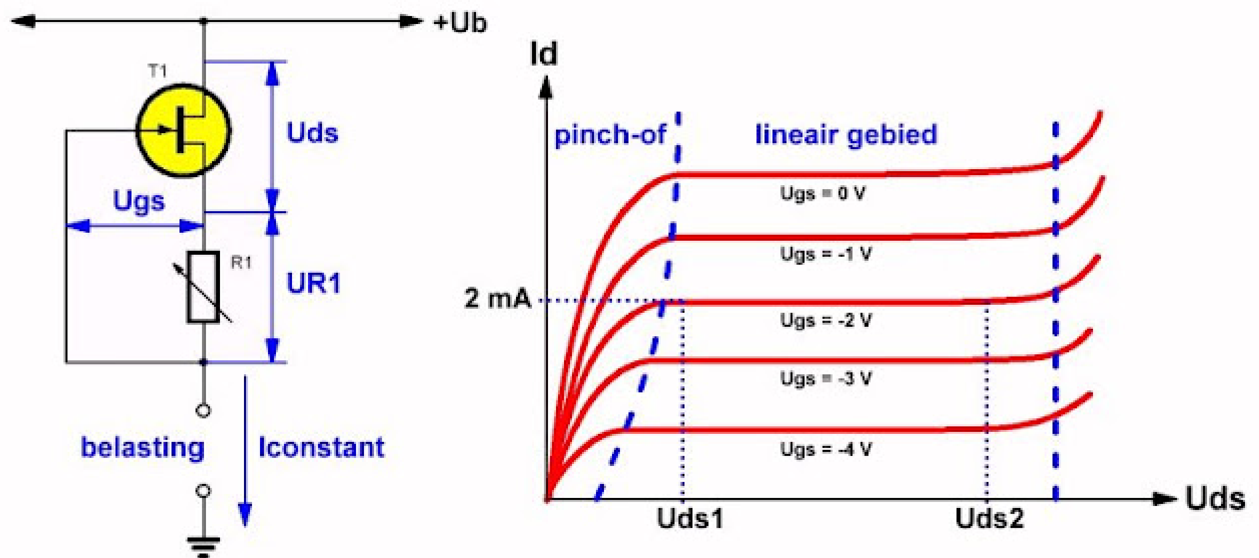
**Drie principes**
U kunt stroombronnen naar hun principieel werkingsprincipe indelen in:

- FET's intern geschakeld als constante stroombron, ook Norton-dioden genoemd.
- Stroomregulatoren in geïntegreerde vorm.
- Digitaal te programmeren stroomschakelaars waarvan de uitgangsstroom afhankelijk is van een binaire code die op de programmeringspennen van de schakeling wordt aangeboden. Deze schakelingen worden toegepast in analoog naar digitaal en digitaal naar analoog omzetters.

In de volgende paragrafen worden de verschillende soorten stroombronnen en de in het kort besproken.

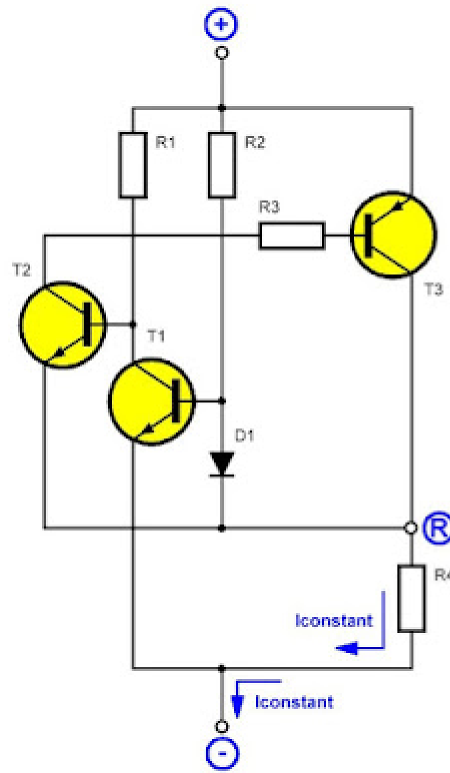
**De FET als stroombron: de norton-diode**
De transfer-karakteristiek van een veldeffect transistor, getekend in de onderstaande figuur, lijkt op deze van een stroombron. Als de drain/source-spanning groter wordt dan de pinch-of drempel $U_{ds1}$ zal de FET zich als constante stroombron gedragen. De waarde van de stroom wordt alleen bepaald door de spanning tussen gate en source.
In dezelfde figuur is het schema voorgesteld waarop alle FET-stroombronnen gebaseerd zijn. De noodzakelijke gate/source-spanning wordt opgewekt door een weerstand in serie met de source op te nemen. De gate is verbonden met de onderste aansluiting van deze weerstand, zodat de spanningsval $U_{R1}$ over de weerstand gelijk wordt aan de instelspanning $U_{gs}$ van de FET. De waarde van de weerstand bepaalt de grootte van de $U_{gs}$ en dus ook de waarde van de constante stroom die door de FET zal vloeien.
Enige voorwaarde is dat de drain/source-spanning groter is dan de pinch-of drempel $U_{ds1}$. Deze waarde wordt in de specificaties van de FET-stroombronnen de '*grensspanning*' genoemd.

De op een FET gebaseerde stroombronnen worden ook wel eens norton-dioden genoemd.




*Een FET als constante stroombron. (© 2020 Jos Verstraten)*

**Geïntegreerde stroomregulatoren**
Geïntegreerde stroomregulatoren zoals de LM334 zijn, sterk vereenvoudigd, samengesteld volgens het schema van de onderstaande figuur. Tussen de aansluiting R en de - wordt een weerstand R4 aangebracht die de grootte van de stroom definieert. Als basis van het regelsysteem dat de stroom constant houdt wordt een siliciumdiode D1 gebruikt. Als de stroom I die door de schakeling geleverd wordt zou stijgen zal de spanning op de emitter van T1 gaan dalen. Deze halfgeleider gaat meer geleiden, de spanning op de collector daalt. De basis/emitter-spanning van T2 wordt kleiner, deze transistor gaat minder geleiden. De spanning op de collector neemt toe, transistor T3 zal minder basisstroom trekken en dus minder gaan geleiden. De equivalente weerstand van deze halfgeleider neemt toe, de oorspronkelijke stijging van de uitgangsstroom wordt tegengewerkt.
Door het variëren van de waarde van de weerstand R4 kunt u een andere constante stroom instellen.
Nadeel van deze schakeling is dat zij zeer temperatuur afhankelijk is. Het spanningsverschil tussen de basis en de emitter van T1, dat het regelsysteem stuurt, hangt immers voor een deel af van de spanning over de Si-diode en deze is, zoals u weet, zeer temperatuur afhankelijk. Zonder speciale maatregelen kunt u een dergelijke stroombron gebruiken als temperatuursensor!



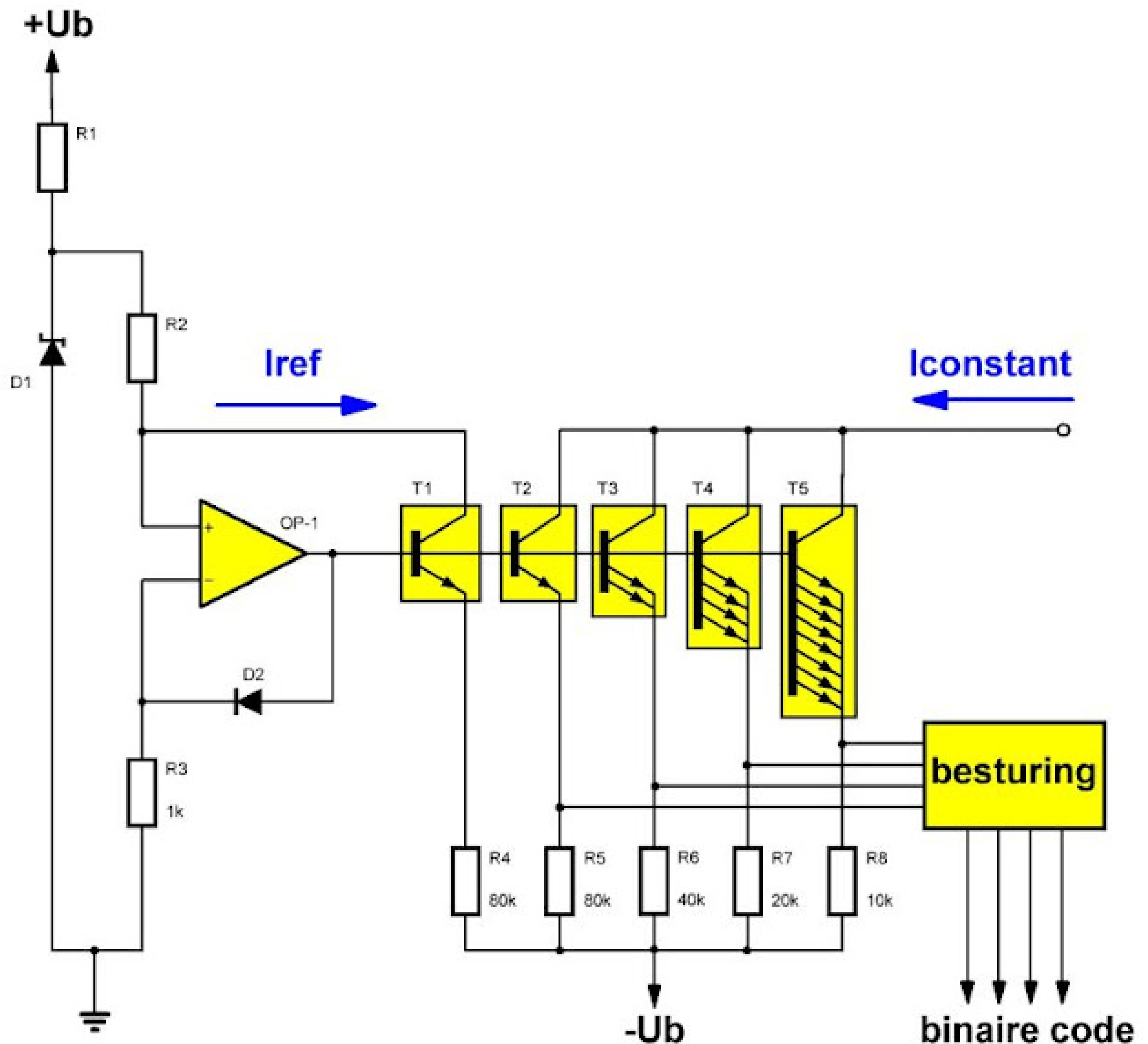

*Basisprincipe van een geïntegreerde stroombron.*
*(© 2020 Jos Verstraten)*

**Programmeerbare stroomschakelaars**
Het interne schema van een programmeerbare stroomschakelaar is getekend in de onderstaande figuur. De schakeling van het IC bestaat uit drie delen:

- Een zeer nauwkeurige stroombron met als actieve elementen de op-amp OP-1 en de transistor T1.
- Vier stroomversterkers rond de transistoren T2 tot en met T5 die de nauwkeurige stroom van T1 versterken tot 1x, 2x, 4x en 8x de basiswaarde van de stroombron.
- Een besturing met vier logische schakelaars die de stromen van de vier stroomversterkers op bevel van de binaire code op de vier besturingsingangen naar de stroomuitgang schakelen.

De interne transistor T1 is opgenomen in een externe zeer nauwkeurige stroombron. In het voorbeeldschema is deze bron samengesteld uit een operationele versterker en een zenerdiode. Deze schakeling stuurt een zeer nauwkeurige stroom $I_{ref}$ van bijvoorbeeld 125 µA naar de collector van T1. De operationele versterker regelt de spanning op de basis van T1 zodanig dat de collectorstroom van deze halfgeleider gelijk wordt aan de referentiestroom $I_{ref}$ die via weerstand R2 uit de zenerspanning wordt afgeleid.
De basis van T1 is rechtstreeks verbonden met de basissen van de transistoren T2 tot en met T5. Deze lijn noemt men de gemeenschappelijke basislijn of de '*common base line*'. De vijf transistoren T1 tot en met T5 zijn zo ontworpen dat zij volledig identieke eigenschappen hebben. Tussen de respectievelijke emitters en de negatieve voeding staan gewogen weerstanden die onderling een verhouding van 1/2/4/8 hebben. Bovendien is de grootste van deze weerstanden gelijk aan de waarde van de emitterweerstand van T1. In de voorbeeldschakeling de emitterweerstand R4 van T1 80 kΩ, de waarden van de overige emitterweerstanden zijn dus gelijk aan 80 kΩ, 40 kΩ, 20 kΩ en 10 kΩ.
Omdat alle transistoren op dezelfde basisspanning staan en bovendien gelijke basis/emitter-spanningen hebben zullen er over al deze weerstanden gelijke spanningen staan. Het gevolg is dat door de transistoren stromen lopen die gelijk zijn aan 1 ● $I_{ref}$, 2 ● $I_{ref}$, 4 ● $I_{ref}$ en 8 ● $I_{ref}$. Door T2 loopt dus een stroom van 125 µA, door T3 vloeit 250 µA, T4 levert 500 µA en T5 draagt 1 mA bij. Noteer dat deze stroomverhouding alleen afhankelijk is van de nauwkeurigheid van de weerstanden en dat de $I_{ref}$ wordt bepaald door de stroom die u in de collector van T1 stuurt. De collectors van de vier stroomversterkers zijn verbonden met de

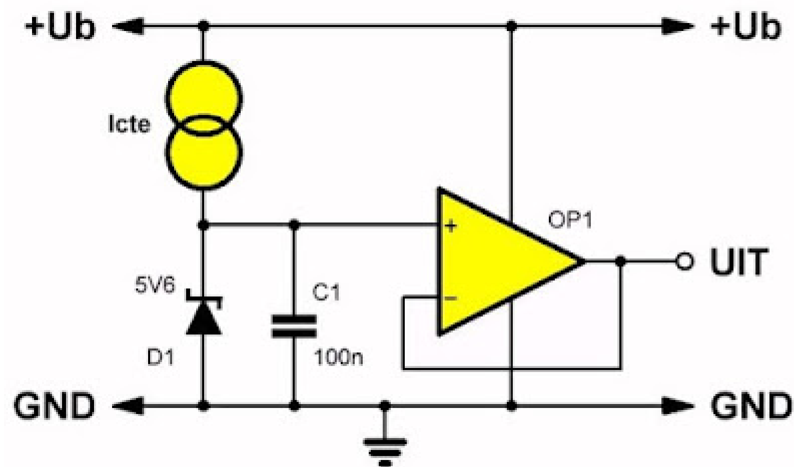
uitgangspen van het IC. Door deze aansluiting zal dus de totale stroom vloeien van alle geleidende transistoren.
Het al dan niet in geleiding sturen van de transistoren wordt gecontroleerd door een besturingsschakeling die de TTL-signalen op de besturingsingangen 'binaire code' omzet in signalen die de stroomschakelaars aan of uit zet.




*Basisprincipe van een programmeerbare stroomschakelaar. (© 2020 Jos Verstraten)*

## Toepassingen van stroombronnen

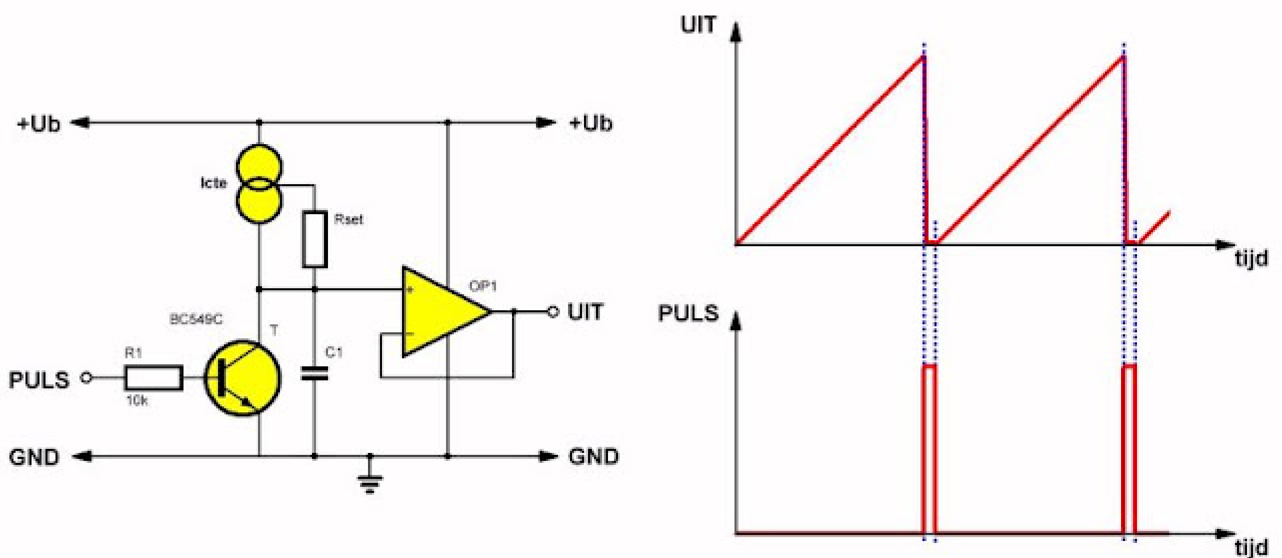
**Instellen van een zenerdiode**
Als u een zenerdiode niet instelt door middel van een weerstand maar door middel van een constante stroombron ontstaat over de zenerdiode een zeer stabiele en constante spanning. Als u bovendien een zenerdiode van 5,6 V gebruikt is de temperatuursdrift minimaal. Zo'n zenerdiode heeft immers een temperatuurscoëfficiënt van slechts +0,2 mV/°C.



*Genereren van een zeer stabiele zenerspanning. (© 2020 Jos Verstraten)*

**Eenvoudige zaagtandgeneratoren**

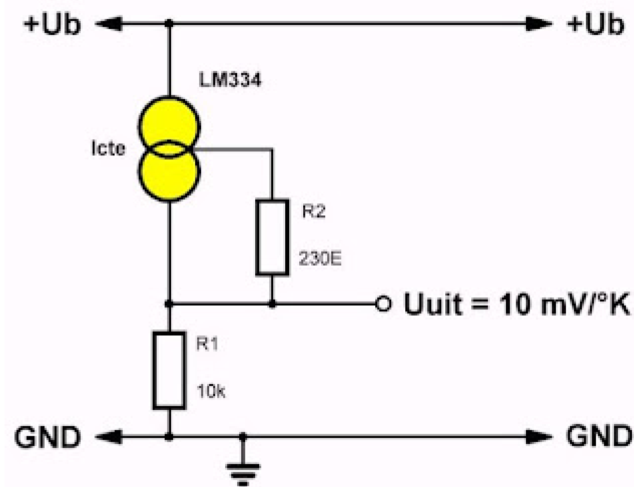
In de onderstaande figuur is een zeer eenvoudige zaagtandgenerator voorgesteld met een stroombron LM334, waarbij de zaagtandvormige spanning ontstaat door de condensator C1 lineair op te laden met de constante stroom van de LM334 en te ontladen door het even in geleiding sturen van de transistor T1. De op-amp OP1 zorgt voor het afsluiten van de condensator C1 met een zeer grote weerstand, zodat het lineaire laadproces niet wordt verstoord door een ongewenste ontlading van de condensator.



*Genereren van een zaagtandvormige spanning. (© 2020 Jos Verstraten)*

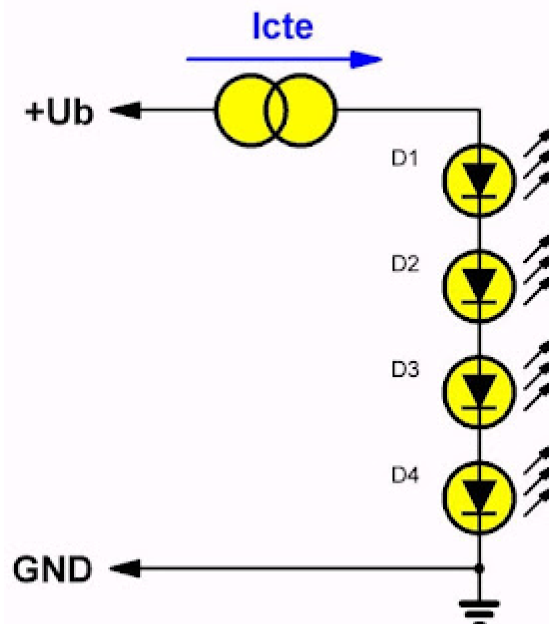
**Eenvoudige kelvin temperatuurmeters**

Sommige geïntegreerde stroombronnen hebben een grote, maar lineaire temperatuurscoëfficiënt. Van dit feit kunt u gebruik maken bij het ontwerpen van zeer eenvoudige thermometers. Probleem is wel dat deze meters een in graden kelvin geijkte schaal hebben. Bij 20 °C leveren deze schakelingen een spanning van bijvoorbeeld 293,15 mV of 2,9315 V. Met een op-amp, geschakeld als verschilversterker, kunt u uiteraard een constante spanning van 293,15 mV of 2,9315 V van de uitgangsspanning van de stroombron aftrekken. Het resultaat is een thermometer met een in graden celsius geijkte schaal.



*Eenvoudige thermometer met een Kelvin-schaal. (© 2020 Jos Verstraten)*

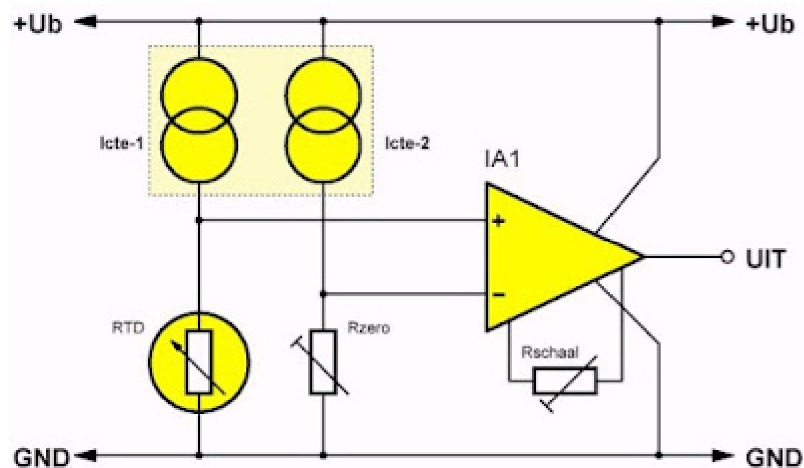
**LED-drivers**
LED's zijn lichtbronnen die niet spanning- maar stroomgestuurd zijn. Dat betekent dat u de lichtopbrengst niet kunt instellen door de spanning over het onderdeel te variëren, maar dat u de stroom door het onderdeel moet regelen. Vandaar dat stroombronnen ideale onderdelen zijn voor het instellen van LED's. Zeker in omstandigheden waarbij de voedingsspanning nogal kan variëren, maar u tóch een constante lichtintensiteit eist, is het gebruik van een stroombron een must.
Een heleboel stroombronnen zijn op de markt gebracht met dit ene doel voor ogen: het voeden van LED's uit een wisselende voedingsspanning. Het basisschema is voorgesteld in de onderstaande figuur en hoeft geen nadere verklaring. Waar u op moet letten is de minimale spanning die over de stroombron moet staan om het IC goed te laten werken. Stel dat deze parameter 4,0 V bedraagt en u vier rode LED's wilt voeden. Over een rode LED valt gemiddeld 1,8 V. Over de vier LED's valt dus een spanning van 7,2 V. De minimale voedingsspanning $+U_b$ moet dan gelijk zijn aan 11,2 V.



*Een stroombron voedt een LED-string. (© 2020 Jos Verstraten)*

**Instellen van een RTD-sensor**
Een RTD-sensor is een '***R**esistance **T**emperature **D**etector*' ofwel een weerstand die wordt gebruikt voor het meten van temperaturen. Een van de bekendste RTD's is uiteraard de Pt100 die u in tientallen verschillende uitvoeringen kunt kopen die allemaal volgens hetzelfde principe werken. In de meeste gevallen moet u de temperatuur afhankelijke weerstand van zo'n sensor omzetten in een geijkte gelijkspanning die bijvoorbeeld -0,5 V is bij een temperatuur van -50 °C en +1,5 V bij een temperatuur van +150 °C. Voor deze klus kunt u

gebruik maken van twee stroombronnen, die volgens het onderstaande schema stromen door de RTD sturen. De waarde van $R_{set}$ is zeer belangrijk want deze bepaalt in hoge mate de schaalfactor van de omzetting van de temperatuur in een geijkte uitgangsspanning. Vanwege de grote gevoeligheid van de schakeling wordt geadviseerd geen op-amp als verschilversterker toe te passen, maar een instrumentatieversterker IA1. Met $R_{zero}$ stelt u het nulpunt in, met $R_{schaal}$ de schaalfactor.
De twee stroombronnen $I_{cte-1}$ en $I_{cte-2}$ moeten zoveel mogelijk identieke eigenschappen hebben en thermisch gekoppeld worden.



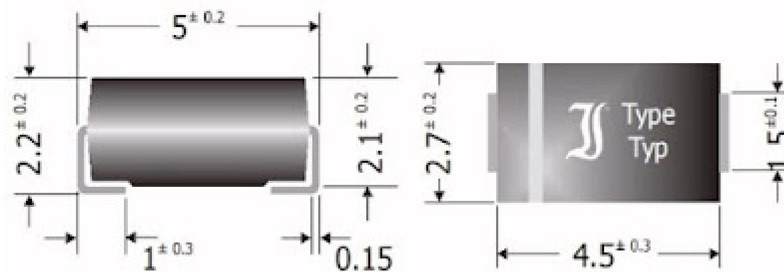
*Twee identieke stroombronnen stellen een RTD-sensor in. (© 2020 Jos Verstraten)*

## Goedkope stroombronnen om mee te experimenteren

**Inleiding**
Er worden tientallen stroombronnen en norton-dioden aangeboden. Het is onbegonnen werk om deze allemaal te bespreken. Wij hebben een vrij willekeurige selectie gemaakt met als enige voorwaarde dat de besproken typen niet te duur zijn en goed te krijgen zijn in de reguliere vakhandel, zoals Conrad en Reichelt.

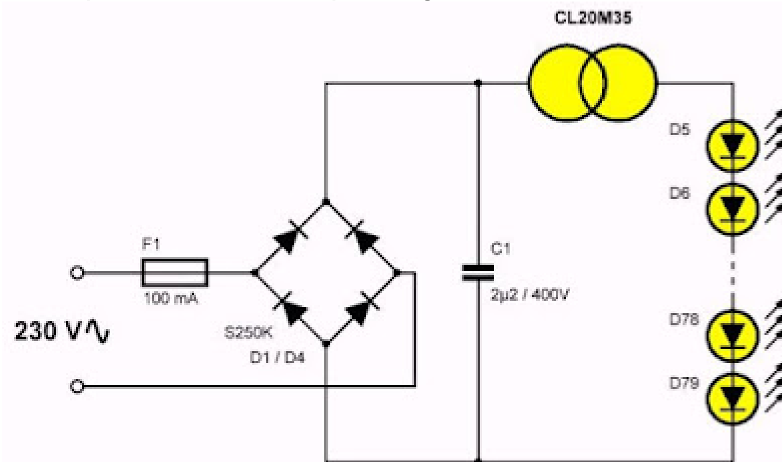
**De CLxxM35 reeks van Diotec Semiconductor**
Deze reeks norton-dioden in DO-214AC behuizing bestaat uit drie leden met de onderstaande stromen:
- **CL15M35:** 12 mA ~ 15 mA ~ 17 mA
- **CL20M35:** 17 mA ~ 20 mA ~ 23 mA
- **CL40M35:** 34 mA ~ 40 mA ~ 46 mA

De drie getallen definiëren de minimale, typische en maximale stromen die door de dioden vloeien.
De overige specificaties van deze dioden zijn:
- **Fabrikant:** Diotec Semiconductor
- **Richtprijs:** € 0,30
- **Voedingsspanning:** 90 V max.
- **Reverse spanning:** 0,5 V typisch
- **Vermogen:** 1 W max.
- **Temperatuurscoëfficiënt:** -26 ● $10^{-4}$/°C typisch



*Behuizing van de CLxxM35 norton-dioden. (© Diotec Semiconductor)*

In het onderstaande voorbeeld wordt een CL20M35 toegepast in een netgevoede LED-lamp. Een aray van 75 in serie geschakelde standaard witte LED's met een brandspanning van 3,2 V wordt gevoed uit de gelijkgerichte netspanning van 230 V. Een niet-elektrolytische condensator C1 van 2,2 µF en 400 V dempt het geflikker van de LED's.

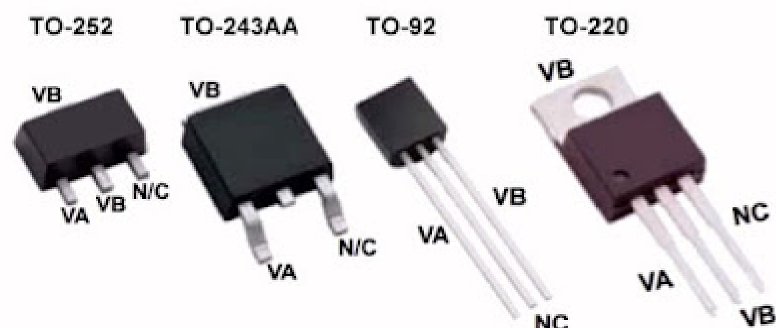


*Een 230 V LED-lamp met een CL20M35. (© 220 Jos Verstraten)*

**De CLxx reeks van Supertex Inc**
Deze reeks stroombronnen bevat diverse leden, waaruit wij twee stuks bespreken. Deze stroombronnen zijn temperatuur gecompenseerd en iedere chip wordt individueel getrimd op een maximale tolerantie op de stroom van slechts ±10 %. Deze stroombronnen zijn speciaal ontwikkeld voor het voeden van LED's. Een eigenschap van deze reeks chip's is dat u identieke exemplaren zonder bezwaar parallel kunt schakelen voor het verhogen van de totaal geleverde stroom.
De constante stromen en maximale spanningen van de twee besproken leden:

- **CL2:** 20 mA ~ 90 V
- **CL220:** 25 mA ~ 220 V

Deze IC's worden in diverse behuizingen aangeboden, die samengevat zijn in de onderstaande figuur. De VA-pen is de positieve aansluiting, de VB-pen de negatieve.



*Aansluitgegevens van de CL2 en CL220. (© Supertex inc.)*

De overige specificaties samengevat:

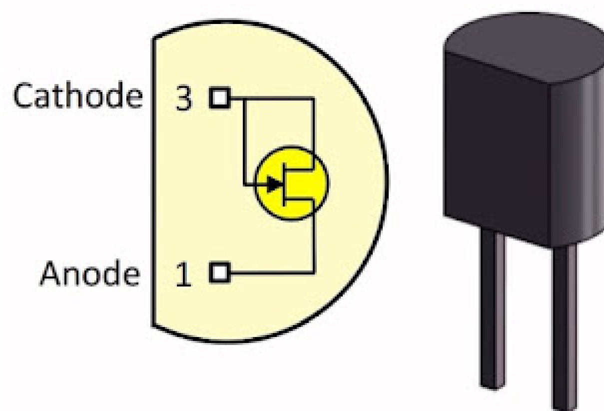
- **Fabrikant:** Supertex inc.
- **Richtprijs CL2:** € 0,37
- **Richtprijs CL220:** € 0,99

**De J55x reeks van InterFET**
Deze reeks norton-dioden in TO-92 behuizing bestaat uit drie leden met de onderstaande stromen:

- **J553:** 0,18 mA ~ 0,5 mA ~ 0,75 mA
- **J554:** 0,6 mA ~ 1,0 mA ~ 1,6 mA
- **J555:** 1,4 mA ~ 2,0 mA ~ 2,6 mA

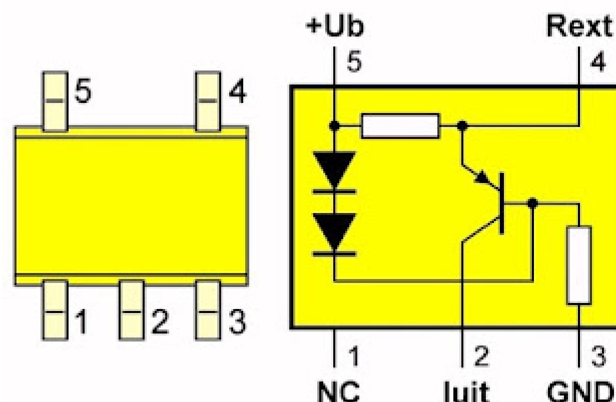
De drie getallen definiëren de minimale, typische en maximale stromen die door de dioden vloeien.
De overige specificaties van deze dioden zijn:

- **Fabrikant:** InterFET
- **Richtprijs:** € 3,20
- **Minimale spanning over de chip:** 0,75 V
- **Maximale spanning over de chip:** 50 V
- **Dynamische weerstand J553:** 13 MΩ typisch
- **Dynamische weerstand J554:** 5,0 MΩ typisch
- **Dynamische weerstand J555:** 1,8 MΩ typisch




*Aansluitgegevens van de J55x-serie. (© InterFET)*

**De PSSI2021SAY van NXP**
De ex halfgeleider divisie van Philips, nu Nexperia genaamd, heeft onder de gemakkelijk te onthouden naam PSSI2021SAY een stroombron ontwikkeld waarvan u de stroom met één enkele weerstand kunt instellen tussen 15 µA en 50 mA. De maximale spanning over het onderdeel bedraagt 75 V. In de onderstaande figuur zijn de aansluitgegevens en het intern blokschema van deze in SOT353 behuizing ondergebrachte schakeling weergegeven.



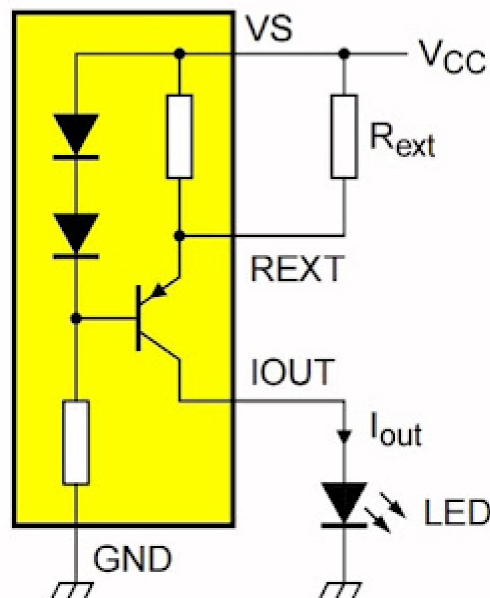

*Aansluitgegevens en schema van de PSSI2021SAY van NXP. (© Nexperia)*

De overige technische gegevens:

- **Fabrikant:** Nexperia (voorheen NXP)
- **Richtprijs:** € 0,21
- **Maximale spanning over de chip:** 75 V
- **Reverse spanning over de chip:** 0,5 V max.

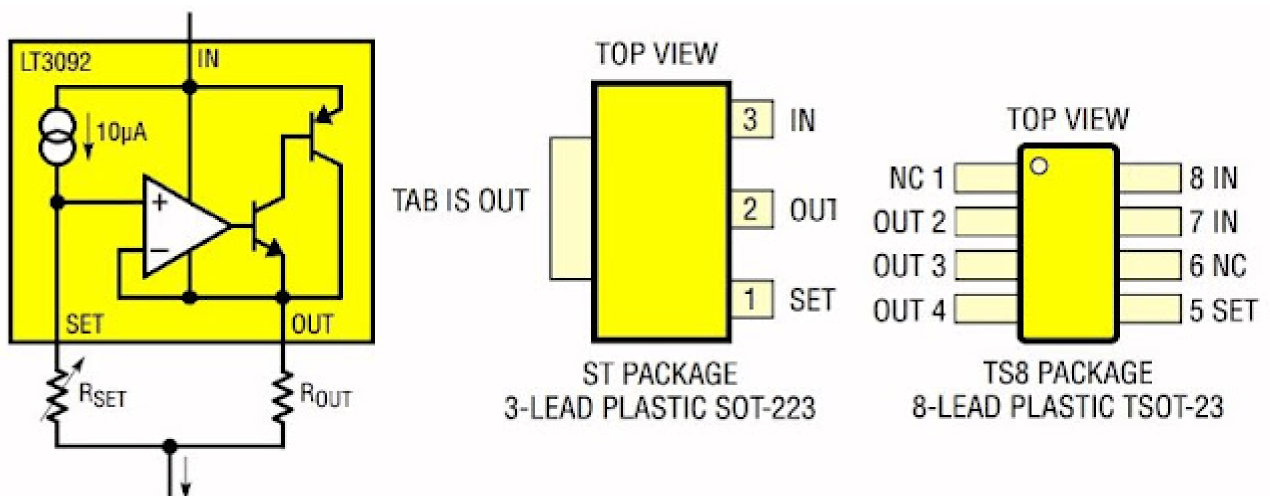
- **Vermogen:** 335 mW max.
- **Uitgangsstroom zonder externe weerstand (+$U_b$ = 12 V):** 10 ~ 15 ~ 20 µA
- **Uitgangsstroom:** 50 mA max.
- **Voedingsstroom (+$U_b$ = 12 V):** 370 µA max.
- **Voedingsstroom (+$U_b$ = 75 V):** 2,2 mA max.
- **Interne weerstand:** 48 kΩ typisch
- **Temperatuurscoëfficiënt:** 0,15 %/°C

De uitgangsstroom wordt gegeven door de formule:
$I_{uit} = [0{,}617 / R_{ext}] + 15\ \mu A$
$R_{ext}$ is de weerstand de u aansluit tussen de pennen 4 en 5.
In de onderstaande figuur is het standaard schema getekend voor het voeden van een LED met een PSSI2021SAY.




*Voeden van een LED met een PSSI2021SAY. (© Nexperia)*

**De LT3092 van Linear**
Dit IC, tegenwoordig gemarket door Analog Devices, is een instelbare stroombron van 0,5 mA tot 200 mA en met een voedingsspanning van 1,2 V tot 40 V. De stroom wordt bepaald door de verhouding tussen twee weerstanden. In de onderstaande figuur zijn het inwendig schema en de aansluitgegevens van de twee behuizingen verzameld.



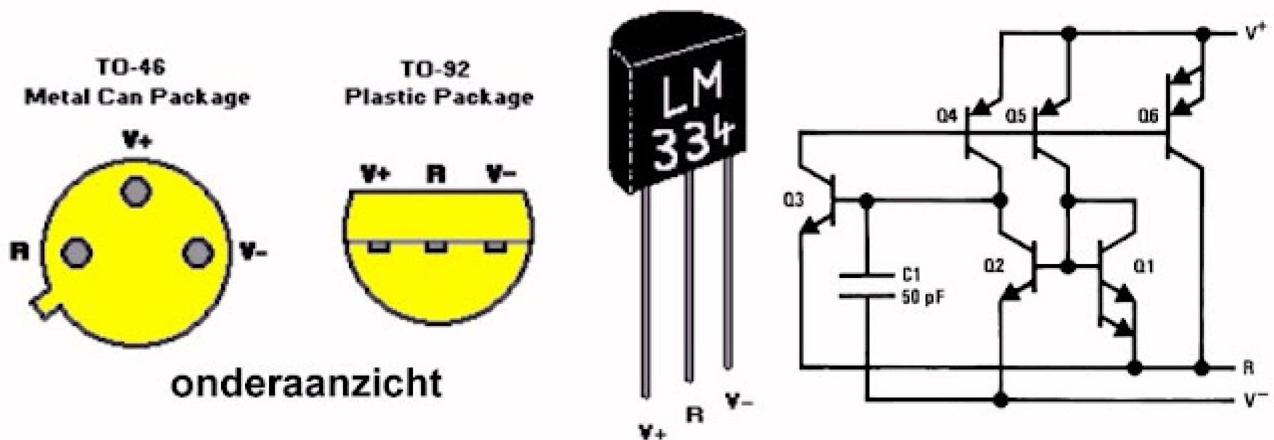

*Aansluitgegevens en intern schema van de LT3092 van Linear. (© Analog Devices)*

De voornaamste technische gegevens van de LT3092 zijn:
- **Fabrikant:** Linear
- **Richtprijs:** € 4,48
- **Minimale voedingsspanning:** 1,2 V

- **Maximale voedingsspanning:** 40 V
- **Minimale uitgangsstroom:** 0,5 mA
- **Maximale uitgangsstroom:** 200 mA
- **Interne referentie stroombron:** 10,0 µA typisch

De uitgangsstroom wordt berekend aan de hand van de onderstaande formule:
$I_{uit} = [(10\ \mu A \bullet R_{SET}) / R_{OUT}] + 10\ \mu A$
U moet de waarde van $R_{SET}$ zo kiezen dat er over deze weerstand een spanning van minimaal 200 mV valt.

**De LM334 van National Semiconductor**
Deze stroombron kan een stroom leveren tussen 1 µA en 10 mA bij een voedingsspanning van 1 V tot 40 V. De stroom wordt bepaald door één weerstand $R_{SET}$ tussen de pennen R en V-. Het merkwaardige van deze schakeling is dat de stroom niet alleen afhankelijk is van deze weerstand, maar ook van de temperatuur van de chip. Dit verband is zeer lineair tussen -50 °C en +125 °C, zodat deze schakeling uitstekend bruikbaar is als basis van een temperatuurmeter.

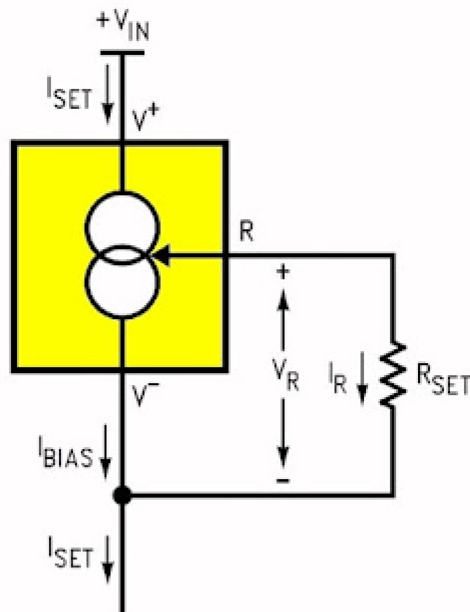


*Aansluitgegevens en intern schema van de LM334 van NatSemi. (© NatSemi)*

De voornaamste specificaties van de LM334 zijn:

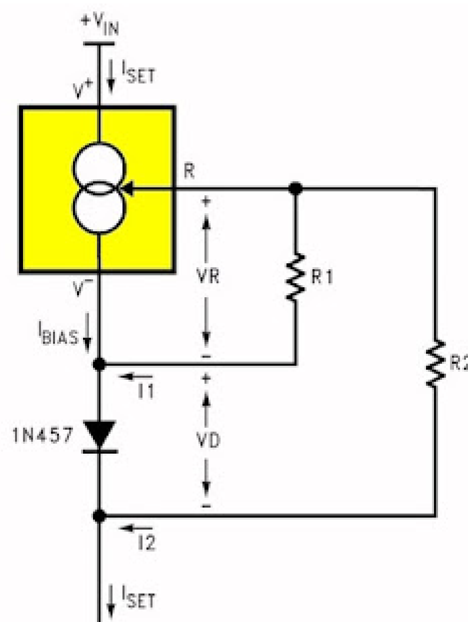
- **Fabrikant:** National Semiconductor
- **Richtprijs:** € 1,07
- **Minimale voedingsspanning:** 1,0 V
- **Maximale voedingsspanning:** 40 V
- **Minimale uitgangsstroom:** 1 µA
- **Maximale uitgangsstroom:** 10 mA
- **Temperatuurscoëfficiënt:** 0,33 %/°C

In de onderstaande figuur is het basisschema rond de LM334 getekend als stroombron. De waarde van de uitgangsstroom $I_{SET}$ wordt gegeven door de formule:
$I_{SET} = [227\ \mu V \bullet °K] / R_{SET}$
In deze formule moet u de temperatuur van de chip dus invullen in graden kelvin en niet in gaden celsius. U zet de temperatuur van celsius om naar kelvin door bij de celsius-waarde het getal 273,15 op te tellen.




*Een temperatuur afhankelijke stroombron met de LM334. (© NatSemi)*

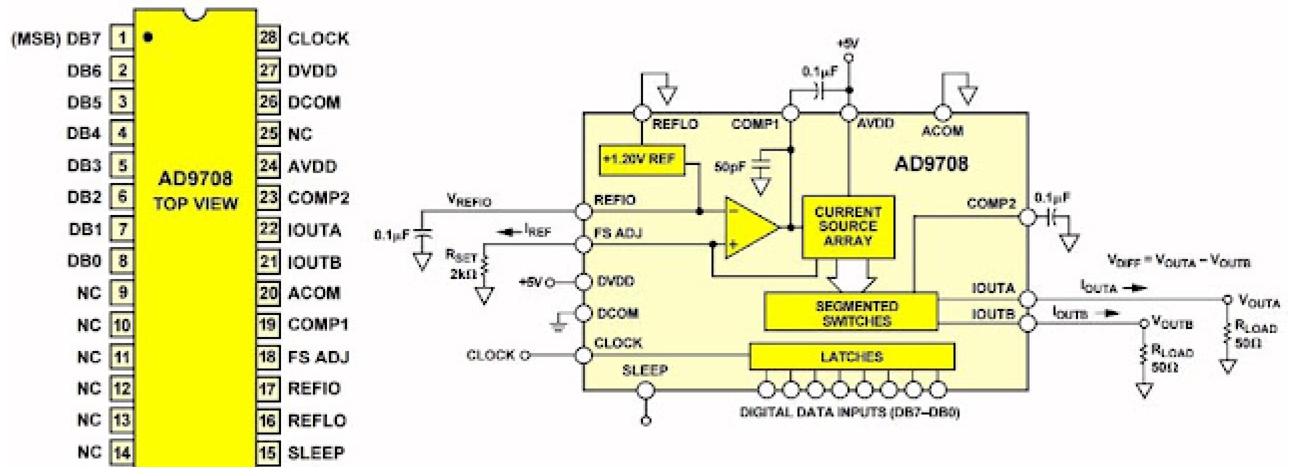
Als u de stroom $I_{SET}$ op een grotere waarde dan 100 µA instelt moet u rekening houden met de interne temperatuurstijging in de chip. Bij een stroom van 1 mA levert een spanningstijging van 1 V tussen V+ en V- een temperatuurstijging op van ongeveer 0,4 °C.
Door het toevoegen van één weerstand en één siliciumdiode compenseert u de temperatuur afhankelijke uitgangsstroom van de LM334. Het schema is voorgesteld in de onderstaande figuur. De weerstanden R1 en R2 worden berekend met de volgende formules:
R2 = 10 ● R1
R1 = 0,134 V / $I_{SET}$




*Een temperatuur gecompenseerde stroombron met de LM334. (© NatSemi)*

**De AD9708 van Analog Devices**
Tot slot van dit artikel over stroombronnen nog wat informatie over een binair te programmeren stroomschakelaar van Analog Devices. De AD9708 is een acht bit brede DAC die twee complementaire uitgangsstromen levert van 2 mA tot 20 mA volle schaal. Dat wil zeggen dat de uitgang $I_{OUTA}$ deze stroom levert als alle data-bits 'H' zijn en de uitgang $I_{OUTB}$ deze stroom levert als alle data-bits 'L' zijn. Deze stromen zijn desgewenst om te zetten in een uitgangsspanning door de stroomuitgangen af te sluiten met een weerstand naar de massa. De maximale waarde van de uitgangsspanningen bedraagt 1,25 V. De waarde van de uitgangsstromen wordt bepaald door één weerstand $R_{SET}$ die tussen een pen en van het IC

en de massa wordt geschakeld. De digitale code op de ingangen DB0 tot en met DB7 wordt op de positieve flank van het kloksignaal in de chip geladen. Het IC wordt gevoed met één enkele voedingsspanning die minimaal +2,7 V en maximaal +5,5 V is.
Via de actief hoge SLEEP-ingang kunt u de chip in power-down zetten.
De richtprijs van de AD9708 bedraagt € 7,23.



*Intern blokschema en aansluitingen van de AD9708. (© Analog Devices)*